

(19)

Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 996 240 A2

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
26.04.2000 Bulletin 2000/17

(51) Int Cl.7: H04B 7/005

(21) Numéro de dépôt: 99402515.3

(22) Date de dépôt: 13.10.1999

(84) Etats contractants désignés:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE
Etats d'extension désignés:
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorité: 16.10.1998 FR 9813051

(71) Demandeur: Mitsubishi Electric Information
Technology Centre Europe B.V.
1101 AG Amsterdam Zuidoost (NL)

(72) Inventeurs:
• Voyer, Nicolas
35700 Rennes (FR)
• Mottier, David
35700 Rennes (FR)

(74) Mandataire: Maillet, Alain
Cabinet Le Guen & Maillet,
38, rue Levassasseur,
B.P. 91
35802 Dinard Cedex (FR)

(54) **Procédé de contrôle en boucle fermée de la puissance reçue par un récepteur et transmise d'un émetteur d'un système de télécommunications**

(57) La présente invention concerne un procédé de contrôle en boucle fermée de la puissance reçue par un récepteur et transmise d'un émetteur d'un système de télécommunications. Ledit procédé consiste à recevoir le signal émis par l'émetteur, à déterminer la variation statique de puissance reçue à partir de la puissance du signal reçu et de la puissance requise et à engendrer un signal de commande qui est alors transmis à l'émet-

teur pour que, selon le cas, il augmente ou diminue sa puissance d'émission.

Selon l'invention, pour déterminer le signal de commande, il consiste en outre à déterminer la variation de puissance dynamique due au canal aller en effectuant une prédiction de la variation de la réponse du canal entre l'instant courant et l'instant correspondant au temps de la prise en compte du signal de commande par l'émetteur.

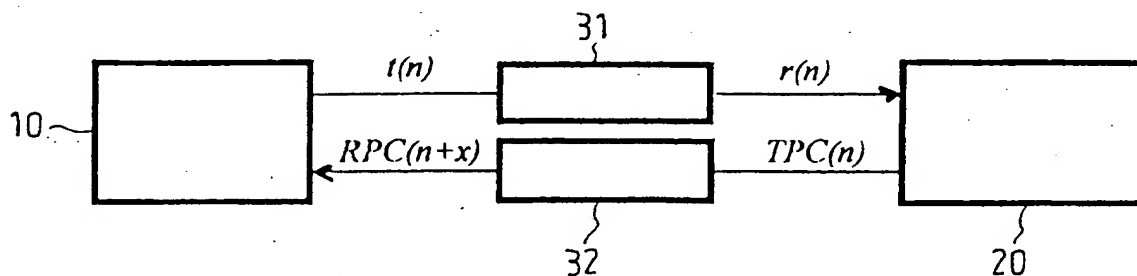


FIG. 1

et la puissance qu'il a effectivement reçue $R(n)$. Cette différence est ensuite quantifiée sur un nombre Q de bits et constitue ainsi le signal de commande de puissance $TPC(n)$.

[0014] Par exemple, en utilisant un seul bit de quantification ($Q = 1$), on aura :

$$\text{si } R(n) > R_{\text{req}}, TPC(n) = -y \text{ dB}$$

$$\text{si } R(n) < R_{\text{req}}, TPC(n) = +y \text{ dB}$$

où y est un niveau de variation de puissance prédéterminé.

[0015] La valeur attribuée au signal de commande $TPC(n)$ correspond donc au nombre de décibels dont la puissance émise $T(n+x)$ doit être augmentée ou diminuée pour que la puissance reçue $R(n)$ tende vers la valeur R_{req} . Cette méthode est connue pour faire converger la puissance reçue $R(n)$ par le récepteur 20 autour de la puissance requise R_{req} (aux oscillations d'amplitude $\pm y$ dB près) pour des canaux dont l'atténuation évolue faiblement avec le temps, par exemple du fait que l'émetteur se déplace à basse vitesse.

[0016] Pour limiter les oscillations de puissance reçue autour de la valeur requise R_{req} , on peut utiliser généralement de plus faibles valeurs du niveau de variation de puissance y . Néanmoins, la puissance reçue converge alors moins bien, en particulier pour un canal dont l'atténuation évolue plus vite avec le temps.

[0017] Pour résoudre ce problème, une solution pourrait consister à quantifier la différence entre la puissance requise R_{req} et la puissance reçue $R(n)$ sur un plus grand nombre de bits apportant ainsi à la valeur du signal de commande $TPC(n)$ une meilleure résolution. Cependant, une telle méthode n'est pas adéquate car le nombre de bits à transmettre sur le canal retour 32 est généralement sévèrement limité.

[0018] De manière générale, la méthode exposée ci-dessus est excellente quand il s'agit de compenser une atténuation de puissance $c(n)$ du canal aller 31 qui varie faiblement au cours du temps, par exemple parce que l'émetteur 10 se déplace à relativement faible vitesse. Mais pour compenser des atténuations du canal plus rapides, soit parce que l'émetteur se déplace plus rapidement, soit parce que le canal est l'objet d'interférences de Rayleigh, cette méthode s'avère dans les faits inefficace.

[0019] On a déjà tenté de compenser non seulement la partie continue du rapport entre $R(n)$ et R_{req} mais également la partie dynamique de ce rapport, au moyen d'un filtre prédictif polynomial (généralement long). Pour ce faire, le récepteur 20 calcule le signal de commande $TPC(n)$ comme précédemment mais en remplaçant la puissance reçue $R(n)$ à la fenêtre de temps n par une estimation de cette puissance $R(n-x)$ à la fenêtre de temps $(n+x)$. Généralement, cette méthode supporte

des canaux à évolutions plus rapides que la méthode classique présentée ci-dessus mais n'est pas encore satisfaisante.

[0020] En effet, faire une prédiction polynomiale de l'évolution de la puissance reçue $R(n)$ peut s'avérer inadéquat car elle varie de manière discontinue, en raison des variations brutales de la puissance $T(n)$ émises par l'émetteur 10 dues à la présence même du contrôle de puissance. Par ailleurs, les filtres utilisés sont longs (typiquement d'une dizaine de coefficients) ce qui complexifie la mise en oeuvre de cette solution. Ils entraînent également une consommation excessive des récepteurs.

[0021] De plus, on a pu constater que le traitement linéaire du contrôle de puissance est inadapté à une évolution de l'atténuation des canaux pour des téléphones mobiles dont les évanouissements suivent typiquement une loi log-normale.

[0022] Le but de la présente invention est donc de proposer un dispositif de contrôle de puissance en boucle fermée qui permette de résoudre les problèmes soulevés ci-dessus.

[0023] A cet effet, un procédé de contrôle de puissance selon l'invention est caractérisé en ce que, pour déterminer le signal de commande, il consiste en outre à déterminer la variation de puissance dynamique due au canal aller en effectuant une prédiction de la variation de la réponse du canal entre l'instant courant et l'instant correspondant au temps de la prise en compte du signal de commande par l'émetteur.

[0024] Selon une autre caractéristique de l'invention, pour l'estimation de la variation de la réponse du canal, il consiste à utiliser les valeurs prises successivement pour un certain nombre de fenêtres de temps précédentes par un signal d'estimation de l'atténuation du canal aller.

[0025] Avantageusement, la valeur de l'estimation de la variation de la réponse du canal $\Delta C'(n+x)$ est donnée par la relation suivante :

$$\Delta C'(n+x) = g(z,x) C'(n)$$

où $g(z,x)$ est la réponse d'un filtre prédictif correspondant à un rang futur x , x étant le retard mis par l'émetteur pour prendre en compte ledit signal de commande. Ladite réponse est préférentiellement donnée par un polynôme d'ordre 2, par exemple :

$$g(z,x) = (x^2 + 3x)/2 - (x^2 + 2x)z^{-1} + (x^2 + x)z^{-2}/2$$

[0026] Avantageusement, pour déterminer le signal d'estimation de l'atténuation du canal aller, il consiste à utiliser, d'une part, la puissance reçue et, d'autre part, une estimation de la puissance émise par l'émetteur à l'instant courant.

[0027] Avantageusement, pour déterminer une esti-

mation de la puissance émise par l'émetteur à l'instant courant, il consiste à effectuer une estimation du signal de commande reçu par l'émetteur à l'instant courant, puis à additionner à l'estimation de la puissance émise à l'instant précédent ladite estimation du signal de commande.

[0028] Avantageusement, pour déterminer l'estimation du signal de commande, il consiste à retarder le signal de commande d'une durée correspondant au retard mis par l'émetteur pour prendre en compte ledit signal de commande.

[0029] Avantageusement, pour déterminer le signal de commande, il consiste en outre à déterminer la variation du signal de commande de puissance entre l'instant courant et l'instant de prise en compte par l'émetteur d'un signal transmis à l'instant courant.

[0030] Selon une autre caractéristique de l'invention, il consiste à déterminer le signal de commande de puissance par une somme pondérée de la variation statique de puissance reçue, de la variation de puissance dynamique due au canal aller et de la variation du signal de commande de puissance. Les coefficients de pondération de ladite somme pondérée ont par exemple des valeurs qui dépendent des caractéristiques de transmission.

[0031] Selon une autre caractéristique de l'invention, il consiste à convertir la valeur de la puissance reçue en sa valeur en décibels, les différents calculs étant alors faits avec des valeurs exprimées en décibels.

[0032] Les caractéristiques de l'invention mentionnées ci-dessus, ainsi que d'autres, apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante d'un exemple de réalisation, ladite description étant faite en relation avec les dessins joints, parmi lesquels :

la Fig. 1 est un schéma synoptique d'un système de télécommunication qui est adapté à la mise en oeuvre d'un procédé selon la présente invention, la Fig. 2 est un schéma synoptique de la partie concernant le contrôle de puissance d'un récepteur mettant en oeuvre un procédé selon l'invention, la Fig. 3 est un schéma synoptique d'une unité de détermination du signal de commande d'un récepteur mettant en oeuvre un procédé selon l'invention, et

la Fig. 4 est un schéma synoptique d'une unité d'estimation d'un récepteur mettant en oeuvre un procédé selon l'invention.

[0033] Dans la suite de la description, on sera amené à utiliser la transformée en z . On rappelle que la transformée en z d'un signal prenant respectivement pendant des fenêtres de temps $\{0, 1, \dots, n, \dots\}$ les valeurs $\{f(0), f(1), \dots, f(n), \dots\}$ est la fonction suivante du nombre complexe z :

$$F(z) = f(0) + \frac{f(1)}{z} + \dots + \frac{f(n)}{z^n} + \dots$$

[0034] On rappelle que la fonction retard de x fenêtres de temps a pour transformée en z la fonction $1/z^x = z^{-x}$.

[0035] Ces rappels étant faits, on précise d'abord que la mise en oeuvre de la présente invention diffère de celle de l'état de la technique par le traitement qui est opéré dans le récepteur 20. Aussi, on ne s'intéressera maintenant qu'au récepteur 20 étant entendu que la structure générale du système est celle qui est représentée à la Fig. 1.

[0036] Le récepteur représenté schématiquement à la Fig. 2 est essentiellement constitué d'une unité de conversion 21 dont l'entrée est prévue pour recevoir le signal de puissance $r(n)$ émis par un émetteur 10 et dont la sortie est reliée, d'une part, à l'entrée d'une unité 22 de détermination du signal de commande $TPC(n)$ qu'elle délivre sur sa sortie et, d'autre part, à une première entrée d'une unité d'estimation 23. Une seconde entrée de l'unité d'estimation 23 est prévue pour recevoir le signal de commande $TPC(n)$ alors que sa sortie est reliée à une seconde entrée de l'unité de détermination 22.

[0037] L'unité de conversion 21 est prévue pour assurer la conversion du signal de puissance $r(n)$ en sa valeur exprimée en décibels $R(n)$.

[0038] L'unité d'estimation 23 est prévue pour effectuer une estimation $C'(n)$ de la réponse du canal $C(n)$ et ce, à partir, d'une part, de la puissance $R(n)$ reçue et, d'autre part, des valeurs $TPC(i)$ avec $i < n$ précédemment prises par le signal de commande $TPC(n)$.

[0039] Quant à l'unité de détermination 22, elle est prévue pour élaborer le signal de commande $TPC(n)$ sur la base de la valeur de puissance reçue $R(n)$ et de la valeur de l'estimation notée $C'(n)$ de l'atténuation $C(n)$ du canal aller 31. On rappelle que, si $t(n)$ est la puissance émise par l'émetteur 10 et $r(n)$ est la puissance reçue par le récepteur 20, l'atténuation $c(n)$ est définie comme le rapport $r(n)/t(n)$ qui exprimé en décibels s'écrit :

$$C(n) = R(n) - T(n).$$

[0040] L'unité de détermination 22 représentée à la Fig. 3 est essentiellement constituée d'une unité de contrôle de puissance 221 qui délivre un signal de commande de puissance $PC_{total}(n)$, lequel est quantifié dans une unité de quantification 222 pour former le signal de commande $TPC(n)$. Ce dernier signal peut être constitué d'un ou plusieurs bits.

[0041] Elle comprend encore une unité 223 de détermination de la variation statique de la puissance reçue $PC_{STAT}(n)$, une unité 224 de détermination de la variation dynamique $PC_{DYN,C}(n)$ de puissance due au canal aller 31 et une unité 225 de détermination de la variation dynamique $PC_{DYN,T}(n)$ de puissance due aux commandes de contrôle de puissance passées.

[0042] Le signal $PC_{STAT}(n)$ d'évaluation de la variation statique de puissance est déterminé, par l'unité 223, en effectuant la différence entre la puissance requise R_{req} et la puissance reçue $R(n)$. On a donc :

$$PC_{STAT}(n) = R_{req} - R(n)$$

[0043] Le signal $PC_{DYN_C}(n)$ d'évaluation de l'écart de puissance dynamique dû au canal aller 31 est déterminé, par l'unité 224, en effectuant une prédiction de la variation de la réponse du canal $\Delta C'(n+x) = C'(n-x) - C'(n)$ entre l'instant courant n et l'instant $n+x$ correspondant au temps de la prise en compte du signal de commande $TPC(n)$ par l'émetteur 10

[0044] Le signal de commande $PC_{DYN_C}(n)$ permet de compenser cette variation de réponse. Sa valeur est donc égale à l'opposé de cette variation, soit :

$$PC_{DYN_C}(n) = -\Delta C'(n+x)$$

[0045] Pour l'estimation de la variation de la réponse du canal $\Delta C'(n+x)$, on utilise les valeurs prises successivement pour un certain nombre de fenêtres précédentes par un signal d'estimation noté $C'(n)$ de l'atténuation du canal aller 31. Ce dernier signal $C'(n)$ est délivré par des moyens dont un mode de réalisation préférentiel est décrit ci-après. En conséquence, pour l'estimation ci-dessus, on utilise les valeurs $C'(n)$, $C'(n-1)$ et $C'(n-2)$, etc.

[0046] Au moyen de la notation en z rappelée ci-dessus, la valeur de l'estimation de la variation de la réponse du canal $\Delta C'(n+x)$ est donnée par la relation suivante :

$$\Delta C'(n+x) = g(z, x) C'(n)$$

où $g(z, x)$ est la réponse d'un filtre prédictif correspondant à un rang futur x . Cette réponse est, dans un exemple de réalisation préférée, donnée par un polynôme d'ordre 2, tel que :

$$g(z) = (x^2 + 3x)/2 - (x^2 + 2x)z^{-1} + (x^2 + x)z^{-2}/2$$

[0047] A titre d'exemple, dans le cas où le retard occasionné par le canal retour 32 est $x=2$ (soit 2 unités de fenêtre de temps), on a :

$$PC_{DYN_C}(n) = -5C'(n) + 8C'(n-1) - 3C'(n-2)$$

[0048] Le signal $PC_{DYN_T}(n)$ d'évaluation de l'écart dynamique de puissance dû aux commandes de contrôle de puissance passées déterminé par l'unité 225 a pour valeur la valeur opposée de la variation de la puissance transmise, soit :

sance transmise, soit :

$$PC_{DYN_T} = -\Delta T(n+x)$$

[0049] Cette variation $\Delta T(n+x)$ de puissance transmise entre la fenêtre de temps courante et la fenêtre retardée de x est déterminée par la relation suivante :

$$\Delta T(n+x) = TPC(n-1) + \dots + TPC(n-x+1)$$

[0050] On notera que les $x-1$ signaux de commande déjà transmis par le récepteur 20 mais qui n'ont pas encore été pris en compte par l'émetteur 10, du fait du retard occasionné dans le canal retour 32, ont des valeurs qui sont connues par le récepteur 20 lui-même. Ainsi, le comportement de l'émetteur 10 est prévisible (il obéit aux signaux de commande), aux erreurs près de transmission sur le canal retour 32.

[0051] Exprimé au moyen de la notation en z , le signal $PC_{DYN_T}(n)$ peut être calculé par la relation suivante :

$$PC_{DYN_T} = -h(z) TPC(n-1)$$

avec

$$h(z) = \sum_{j=0}^{x-1} z^j \quad x \geq 2$$

[0052] Le signal $PC_{TOTAL}(n)$ de contrôle de puissance est avantageusement défini, dans l'unité 22, comme une combinaison linéaire des signaux de commande statique et dynamique. On a ainsi :

$$PC(n) = \alpha \cdot PC_{STAT}(n) + \beta \cdot PC_{DYN_C}(n) + \gamma \cdot PC_{DYN_T}(n)$$

où α, β, γ sont des coefficients permettant de pondérer chacun des signaux particuliers selon la situation. Ces paramètres α, β, γ peuvent être fixes, mais ils peuvent également dépendre des caractéristiques de transmission telles que la vitesse de déplacement de l'émetteur 10, l'environnement de la transmission, le service utilisé, etc. On notera que ces caractéristiques peuvent être estimées, par ailleurs. Par exemple, à très basse vitesse, on peut privilégier le terme statique α , alors que pour les vitesses plus élevées, on peut privilégier le terme β permettant de mieux suivre les variations de comportement du canal aller 31.

[0053] Le contrôle de puissance effectué par le procédé de l'invention permet donc de compenser deux types de variations de puissance : la variation statique et la variation dynamique. La variation statique est la différence entre la puissance reçue $R(n)$ et la puissance

requis R_{req} . Elle peut, par exemple, être provoquée par les variations dans le passé du canal aller 31. Quant à la variation dynamique, elle est celle que le récepteur prévoit d'observer dans le futur, à l'instant correspondant à la prise en compte du signal de commande de puissance que l'on essaye de déterminer. Le récepteur 20 peut en effet s'attendre à deux types de variations dynamiques : l'une est due aux variations du canal, variations qui peuvent être prédites grâce à un filtre prédictif ; l'autre est due aux variations de puissance de transmission dues aux commandes de contrôle de puissance passées.

[0054] Le récepteur représenté schématiquement à la Fig. 2 est essentiellement constitué d'une unité de conversion 21 dont l'entrée est prévue pour recevoir le signal de puissance $r(n)$ émis par un émetteur 10 et dont la sortie est reliée, d'une part, à l'entrée d'une unité 22 de détermination du signal de commande $TPC(n)$ qu'elle délivre sur sa sortie et, d'autre part, à une première entrée d'une unité d'estimation 23. Une seconde entrée de l'unité d'estimation 23 est prévue pour recevoir le signal de commande $TPC(n)$ alors que sa sortie est reliée à une seconde entrée de l'unité de détermination 22.

[0055] L'unité de conversion 21 est prévue pour assurer la conversion du signal de puissance $r(n)$ en sa valeur exprimée en décibels $R(n)$. L'unité d'estimation 23 est prévue pour effectuer une estimation $C'(n)$ de la réponse du canal $C(n)$ et ce, à partir, d'une part, de la puissance $R(n)$ reçue et, d'autre part, des valeurs $TPC(i)$ avec $i < n$ précédemment prises par le signal de commande $TPC(n)$. Enfin, l'unité de détermination 22 est conforme à l'unité qui est représentée à la Fig. 2. On rappelle qu'elle permet de déterminer, sur la base de la valeur de puissance $R(n)$ et de la valeur de l'estimation $C'(n)$ la valeur du signal de commande $TPC(n)$.

[0056] A la Fig. 4, on a représenté un mode avantageux de réalisation de l'unité d'estimation 23. Cette unité d'estimation 23 est alors constituée d'une unité de retard 231 dont l'entrée reçoit le signal de commande $TPC(n)$ et dont la sortie est reliée à l'entrée d'une unité 232 de détermination de la puissance émise par l'émetteur 10. La sortie de l'unité 232 est reliée à une première entrée d'une unité de soustraction 233 dont la première entrée reçoit le signal de puissance $R(n)$ et dont la sortie délivre le signal d'estimation $C'(n)$.

[0057] L'unité de retard 231 induit sur le signal de commande $TPC(n)$ un retard x qui correspond à celui qu'engendre le canal retour 32 (voir Fig. 1). On peut constater que le signal délivré par l'unité de retard 231 est une estimation notée $RPC'(n)$ du signal de contrôle de puissance reçu par l'émetteur 10 à l'instant de la fenêtre de temps n mais qui a été émis par le récepteur 20 x fenêtres de temps avant. On peut donc écrire :

$$RPC'(n) = TPC(n-x)$$

[0058] L'unité 232 permet de déterminer une estima-

tion, notée $T(n)$, de la puissance émise par l'émetteur 10 à l'instant de la fenêtre de temps n . On rappelle que l'émetteur 10, à l'instant de la fenêtre de temps n , reçoit le signal de commande $RPC(n)$ et détermine la puissance nouvellement émise $T(n)$ en additionnant la puissance précédente $T(n-1)$ au signal de commande $RPC(n)$. On a donc :

$$T(n) = T(n-1) + RPC(n)$$

[0059] L'unité 232 simule le fonctionnement de l'émetteur 10 et détermine donc, à l'instant de la fenêtre de temps n , une estimation de la puissance nouvellement émise $T'(n)$ en additionnant la puissance précédente $T'(n-1)$ à l'estimation du signal de commande $RPC'(n)$. On a donc :

$$T'(n) = T'(n-1) + RPC'(n)$$

[0060] Quant à l'unité 233, elle effectue le calcul suivant :

$$C'(n) = R(n) + T'(n)$$

Revendications

1. Procédé de contrôle en boucle fermée de la puissance reçue par un récepteur et transmise, via un canal aller, d'un émetteur d'un système de télécommunications, procédé consistant à recevoir le signal émis par l'émetteur, à déterminer la variation statique de puissance reçue à partir de la puissance du signal reçu et de la puissance requise et à engendrer un signal de commande qui est alors transmis à l'émetteur pour que, selon le cas, il augmente ou diminue sa puissance d'émission, caractérisé en ce que, pour déterminer le signal de commande, il consiste en outre à déterminer la variation de puissance dynamique due au canal aller en effectuant une prédiction de la variation de la réponse du canal entre l'instant courant et l'instant correspondant au temps de la prise en compte du signal de commande par l'émetteur.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, pour l'estimation de la variation de la réponse du canal, il consiste à utiliser les valeurs prises successivement pour un certain nombre de fenêtres de temps précédentes par un signal d'estimation de l'atténuation du canal aller.
3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que la valeur de l'estimation de la variation de la réponse du canal $\Delta C'(n+x)$ est donnée par la rela-

tion suivante :

$$\Delta C'(n-x) = g(z,x) C'(n)$$

où $g(z,x)$ est la réponse d'un filtre prédictif correspondant à un rang futur x , x étant le retard mis par l'émetteur pour prendre en compte ledit signal de commande.

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que ladite réponse est donnée par un polynôme d'ordre 2, par exemple :

$$g(z,x) = (x^2 + 3x)/2 - (x^2 + 2x) z^{-1} + (x^2 + x) z^{-2}/2$$

5. Procédé selon une des revendications 2 à 4, caractérisé en ce que, pour déterminer le signal d'estimation de l'atténuation du canal aller, il consiste à utiliser, d'une part, la puissance reçue et, d'autre part, une estimation de la puissance émise par l'émetteur à l'instant courant.

6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que, pour déterminer une estimation de la puissance émise par l'émetteur à l'instant courant, il consiste à effectuer une estimation du signal de commande reçu par l'émetteur à l'instant courant, puis à additionner à l'estimation de la puissance émise à l'instant précédent ladite estimation du signal de commande.

7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que, pour déterminer l'estimation du signal de commande, il consiste à retarder le signal de commande d'une durée correspondant au retard mis par l'émetteur pour prendre en compte ledit signal de commande.

8. Procédé selon une des revendications précédentes, caractérisé en ce que, pour déterminer le signal de commande, il consiste en outre à déterminer la variation du signal de commande de puissance entre l'instant courant et l'instant de prise en compte par l'émetteur d'un signal transmis à l'instant courant.

9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce qu'il consiste à déterminer le signal de commande de puissance par une somme pondérée de la variation statique de puissance reçue, de la variation de puissance dynamique due au canal aller et de la variation du signal de commande de puissance.

10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que les coefficients de pondération de ladite somme pondérée ont des valeurs qui dépendent des caractéristiques de transmission.

téristiques de transmission.

11. Procédé selon une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il consiste à convertir la valeur de la puissance reçue en sa valeur en décibels, les différents calculs étant alors faits avec des valeurs exprimées en décibels.

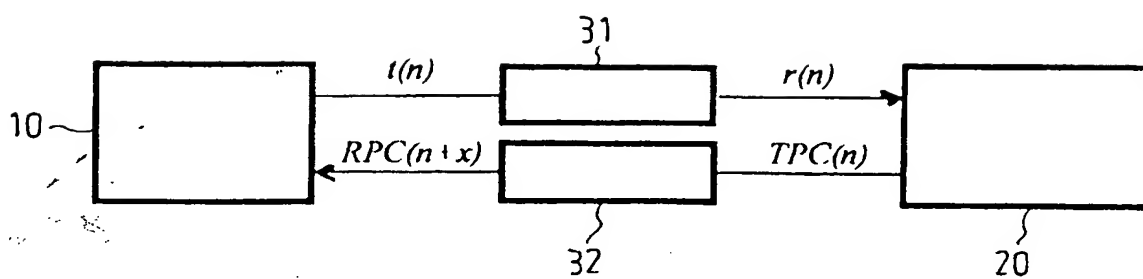


FIG. 1

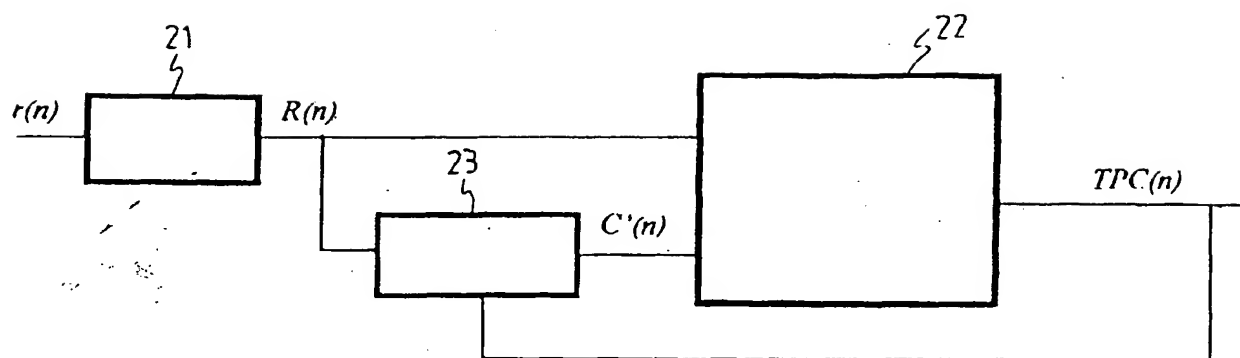


FIG. 2

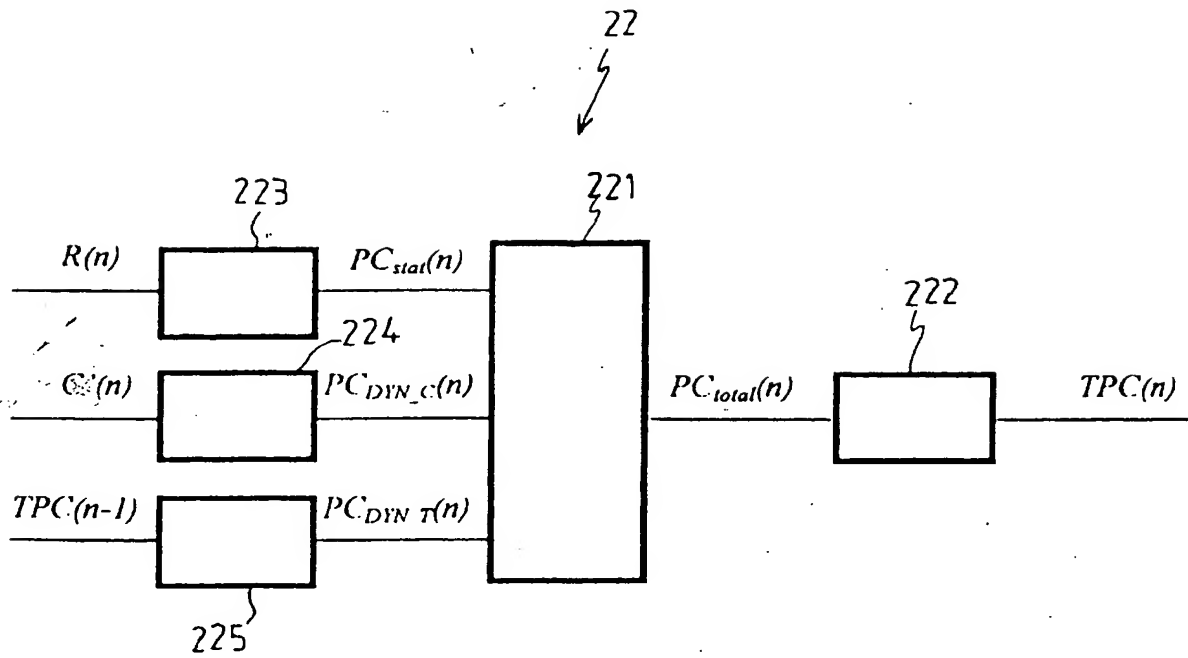


FIG. 3

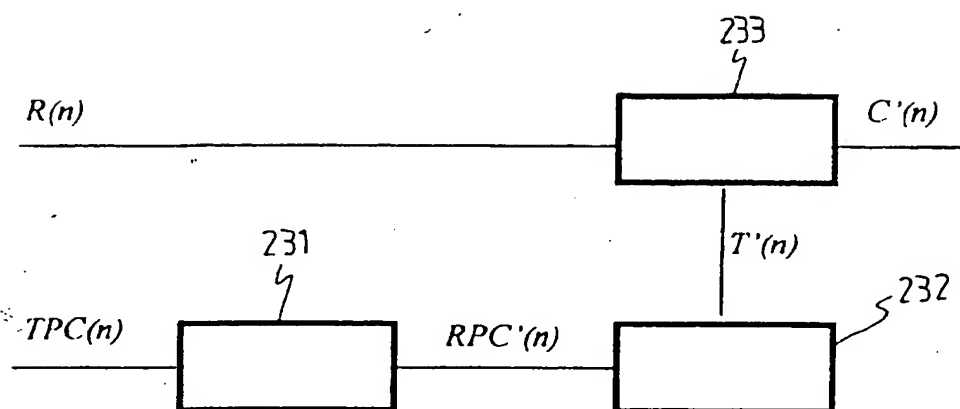


FIG. 4

